

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Beban Stuktur

Pada suatu perencanaan struktur bangunan harus memenuhi peraturan-peraturan yang berlaku. Pada struktur bangunan terdapat beberapa jenis beban yang terjadi, diantaranya beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Menurut pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (PPPURG) 1987, pengertian dari beban-beban tersebut adalah sebagai berikut :

1. Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamanya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.
3. Beban gempa ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban

gempa di sini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

2.1.1. Kuat Perlu

Kuat perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban sesuai dengan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012, berikut kombinasikuat perluyang digunakan:

1. $1,4D$ (2-1)
2. $1,2D + 1,6L$ (2-2)
3. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 1,3E_x + 0,39E_y$ (2-3)
4. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 1,3E_x - 0,39E_y$ (2-4)
5. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 1,3E_x + 0,39E_y$ (2-5)
6. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 1,3E_x - 0,39E_y$ (2-6)
7. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,39E_x + 1,3E_y$ (2-7)
8. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,39E_x + 1,3E_y$ (2-8)
9. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,39E_x - 1,3E_y$ (2-9)
10. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,39E_x - 1,3E_y$ (2-10)
11. $(0,9+0,2S_{DS})D + 1,3E_x + 0,39E_y$ (2-11)
12. $(0,9+0,2S_{DS})D + 1,3E_x - 0,39E_y$ (2-12)
13. $(0,9+0,2S_{DS})D - 1,3E_x + 0,39E_y$ (2-13)
14. $(0,9+0,2S_{DS})D - 1,3E_x - 0,39E_y$ (2-14)
15. $(0,9+0,2S_{DS})D + 0,39E_x + 1,3E_y$ (2-15)
16. $(0,9+0,2S_{DS})D - 0,39E_x + 1,3E_y$ (2-16)
17. $(0,9+0,2S_{DS})D + 0,39E_x - 1,3E_y$ (2-17)

$$18. \quad (0,9+0,2S_{DS})D - 0,39E_x - 1,3E_y \quad (2-18)$$

2.1.2. Kuat Desain

Pada SNI 2847 pasal 9.3, kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi standar ini, yang dikalikan faktor reduksi kekuatan ϕ . Berikut nilai ϕ yang digunakan:

Tabel 2.1 Faktor Reduksi Kekuatan ϕ

No.	Keterangan	ϕ
1.	Penampang terkendali tarik	0,90
2.	Penampang terkendali tekan; a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,75 0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat)	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman stand kurang dari panjang. a. Dari ujung komponen struktur keujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditinggikan secara linier	0,75 0,75 sampai 0,9

(sumber SNI 2847:2013 pasal 9.3)

2.2. Klasifikasi Situs

Pada SNI 1726:2012 pasal 5.1, memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa

faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu, berikut klasifikasi kelas situs.

Tabel 2.2 Klasifikasi Situs

Kelas situs	Vs(m/detik)	N atau Nch	Su(kPa)
SA(batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB(batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC(tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD(tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE(tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF(tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ Lapisan tanah lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

(sumber SNI 1726:2012 pasal 5.3)

Dalam klasifikasi situs, profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan dari nomor ke-1 hingga ke- n dari atas ke bawah, sehingga ada total n -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut.

Untuk mendapatkan nilai kecepatan rata-rata gelombang geser $\overline{v_s}$, tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata \overline{N} dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif \overline{N}_{ch} serta kuat geser niralir rata-rata $\overline{s_u}$ harus melalui langkah berikut ini :

1. Nilai Kecepatan rata-rata Gelombang Geser, $\overline{v_s}$

$$\overline{v_s} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (2-19)$$

Dimana :

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 m

v_{si} = kecepatan gelombang geser lapisan i dinyatakan dalam meter perdetik (m/detik)

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ m}$$

2. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata \overline{N} dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif \overline{N}_{ch}

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2-20)$$

Dimana N_i dan d_i dalam persamaan (2-20) berlaku untuk tanah non-kohefif, tanah kohefif, dan lapisan batuan.

$$\overline{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (2-21)$$

Dimana N_i dan d_i dalam persamaan (2-21) berlaku untuk tanah non-kohefif saja,
dan

$$\sum_{i=1}^m d_i = d_s \sum_{j=1}^m d_i = d_s \quad (2-22)$$

Dimana

d_s = ketebalan total lapisan tanah non-kohefif 30 m paling atas

N_i = tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi dengan nilai ≤ 305 pukulan/m.

3. kuat geser niralir rata-rata \bar{s}_u

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (2-23)$$

Dimana

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (2-24)$$

Keterangan:

d_c = ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohesih di dalam lapisan 30 meter paling atas. (m)

PI = indeks plastisitas

w = kadar air (%)

s_{ui} = kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa

2.3. Perencanaan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

2.3.1. S_{DS} dan S_{D1}

Nilai S_{DS} dan S_{D1} ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia

http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

2.3.2. Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral

Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget

(MCE_R)

Pada pasal 6.2 pada SNI 1726, untuk penentuan respons spektral gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_V). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2-25)$$

$$S_{M1} = F_V S_1 \quad (2-26)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dan koefisien situs F_a dan F_V mengikuti tabel untuk mendapatkan nilai tersebut. Berikut tabel untuk menentukan nilai F_a dan F_V :

Tabel 2.3 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

(sumber SNI 1726:2012 pasal 6.2)

CATATAN :

- a) Untuk nilai-nilai antara Ss dapat dilakukan interpolasi linier
- b) SS=Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_V

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda, 1 detik, S1				
	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

(sumber SNI 1726:2012 pasal 6.2)

CATATAN :

- a) Untuk nilai-nilai antara S1 dapat dilakukan interpolasi linier
- b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik, lihat 6.10.1

2.3.3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Pada SNI 1726 pasal 6.3, Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-27)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-28)$$

2.3.4. Spektrum Respons Desain

Pasal 6.4 pada SNI 1726, bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva

spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan ;
2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-29)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-30)$$

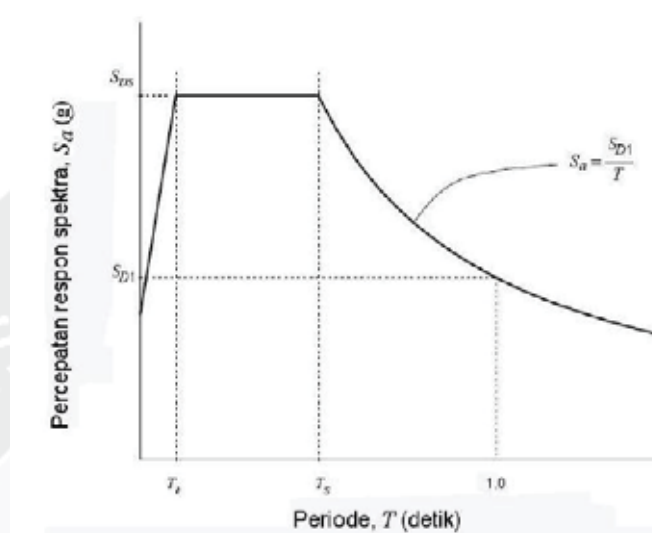
Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = Perioda getar fundamental struktur

Gambar 2.1 Spektrum Respons Desain



(sumber SNI 1726:2012 pasal 6.4)

2.4. Gaya Lateral Ekuivalen

2.4.1. Geser Dasar Seismik

Pada SNI 1726, pasal 7.8.1, Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (2-31)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2.4.2. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-32)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s , yang dihitung sesuai dengan persamaan tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2-33)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2-34)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-35)$$

Keterangan:

Dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam, dan

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum

2.4.3. Periode Fundamental

Nilai koefisien C_u diambil sebagai berikut:

Tabel 2.5 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda Yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(dikutip dari Tabel 14-SNI 1726:2012, halaman 56)

Nilai koefisien C_t dan x diambil sebagai berikut:

Tabel 2.6 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(dikutip dari Tabel 15-SNI 1726:2012, halaman 56)

2.5. Perencanaan Struktur

2.5.1. Pelat Lantai

Pelat beton bertulang adalah pelat dasar yang ditopang oleh balok, dinding, atau kolom beton bertulang, oleh dinding bata, oleh balok atau kolom baja struktur, atau oleh tanah. Jika pelat tersebut hanya ditopang pada kedua sisi yang saling berhadapan, pelat tersebut disebut pelat satu-arah karena lentur hanya terjadi pada satu arah saja yaitu pada arah tegak lurus sisi peletakan. Jika pelat

ditopang oleh balok pada keempat sisinya, pelat disebut pelat dua arah karena lentur terjadi pada kedua arah tersebut.

2.5.2. Konstruksi Satu Arah

Pada SNI 2847, pasal 9.5.2.1, tebal minimum yang ditentukan pada tabel berikut berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat ledutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan. Berikut tabel yang dimaksud:

Tabel 2.7 Tebal Minimum Balok Non-prategang Atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	L/16	L/18,5	L/21	L/8
CATATAN: Panjang bentang dalam mm Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan mutu 420 Mpa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut: a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), W_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09 b. Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$				

(sumber SNI 2847:2013 pasal 9.5)

2.5.3. Konstruksi Dua Arah

Berdasarkan SNI 2847, pasal 9.5.3.2, untuk pelat tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, rebal minimumnya harus memenuhi ketentuan dan tidak boleh kurang dari nilai sebagai berikut:

- a. Tanpa panel drop (drop panels)
- b. Dengan panel drop (drop panels)

Pada pasal 13.2.5 pada SNI 2847, jika digunakan untuk mengurangi jumlah tulangan momen negatif pada kolom atau tebal slab perlu minimum, panel drop (drop panel) harus:

- a. Menjorok di bawah slab paling sedikit seperempat tebal slab disebelahnya; dan
- b. Menerus dalam setiap arah dari garis pusat tumpuan dengan jarak tidak kurang dari seperenam panjang bentang yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan dalam arah tersebut.

Selanjutnya pada pasal 9.5.3.3 pada SNI 2847, untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2, harus menggunakan pasal 9.5.3.2 pada SNI 2847;
- b. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2-36)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

- c. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2-37)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan pada pers. b atau c harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Bagian l_n dalam b dan c adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok. Bagian β dalam b dan c adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

2.5.4. Kolom

Kolom adalah elemen vertikal yang memikul sistem lantai struktural. Elemen ini merupakan elemen yang mengalami tekan dan pada umumnya disertai dengan momen lentur. Kolom merupakan salah satu unsur terpenting dalam peninjauan keamanan struktur.

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya. Bentuk dan susunan tulang pada kolom dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu :

1. Kolom segiempat atau bujursangkar dengan tulang memanjang dan sengkang.
2. Kolom bundar dengan tulang memanjang dan tulang lateral berupa sengkang atau spiral.
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya. Profil baja ini biasanya ditakkan di dalam selubung tulang biasa.

Berdasarkan besarnya regangan pada tulang baja yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu :

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulang yang tertarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.

Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulang yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan.

Menurut SNI 2847, pasal 21.6 perencanaan elemen stuktur kolom. Berikut penjelasannya:

- a. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.

- b. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan berikut:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2-38)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen-momen di muka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif harus diasumsikan menyumbang kepada M_{nb} jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

Kelangsingan Kolom

Berdasarkan SNI 2847, pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

- a. Untuk komponen struktur tekan yang tidak di breising (braced) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k_{lu}}{r} \leq 22 \quad (2-39)$$

- b. Untuk komponen struktur tekan yang di breising (braced) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k_{lu}}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M1}{M2} \right) \leq 40 \quad (2-40)$$

Dimana $M1/M2$ adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda. Diizinkan untuk memperhitungkan komponen struktur tekan yang di breising (braced) terhadap goyangan menyamping bila elemen breising (bracing) mempunyai kekuatan total, pergerakan lateral tahanan dari tingkat tersebut, sebesar paling sedikit 12 kali kekakuan bruto kolom dalam suatu tingkat.

Tulangan Memanjang

- a. Luas tulangan memanjang A_{st} , tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g .
- b. Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum 6.

Tulangan Tranversal

Tulangan tranversal harus dipasang sepanjang panjang l_o dari muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari a, b, dan c:

- a. Tinggi komponen struktur pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi;
- b. Seperenam bentang bersih komponen stuktur; dan
- c. 450 mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil, berikut ketentuannya:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- c. s_o , seperti didefinisikan pada pers. Berikut:

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2-41)$$

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Jumlah tulangan transversal yang disyaratkan dalam (a) atau (b) harus disediakan kecuali bila jumlah yang lebih besar disyaratkan pada SNI 2847, pasal 21.6.5.

- a. Rasio tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan sebagai berikut:

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (2-42)$$

dan tidak boleh kurang dari pers. Berikut:

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2-43)$$

- b. Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan sebagai berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2-44)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s_b f' c}{f_{yt}} \quad (2-45)$$

2.5.5. Balok

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban *tributary* dari *slab* lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Pada umumnya elemen balok dicor secara monolit dengan *slab*, dan secara struktural ditulangi di bagian bawah, atau dibagian atas dan bawah. (Nawy, 1990)

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, balok dapat dikelompokkan kedalam tiga kelompok sebagai berikut:

1. Penampang *balanced*.

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu $\epsilon_y = f_y/E_c$.

2. Penampang *over-reinforced*.

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil dari regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil dari tegangan lelehnya f_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balance*.

3. Penampang *under-reinforced*.

Keruntuhan terjadi ditandai dengan lelehnya tulangan baja. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi balanced.

Menurut SNI 2847, pasal 21.5 menjelaskan perencanaan elemen struktur balok, sebagai berikut:

1. Gaya aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi

$$\frac{A_g f'_c}{10} \quad (2-46)$$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari yang lebih kecil 0,3h dan 250 mm.

Tulangan longitudinal

1. Untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2-47)$$

tetapi tidak kurang dari $1,4b_w d/f_y$, dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

2. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatan tidak

boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan jika:

- a. Dalam joint;
- b. Dalam jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint; dan
- c. Bila analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka.

Tulangan Tranversal

1. Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut:
 - a. Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;
 - b. Sepanjang panjang-panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.
2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
 - a. $d/4$;
 - b. Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal; dan
 - c. 150 mm.

Persyaratan Kekuatan Geser

Pada peraturan beton SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.4 membahas tentang kekuatan geser, sebagai berikut:

a. Gaya Desain

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Keterangan:

M_{pr} = Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan, ϕ , sebesar 1.0, N.mm.

b. Tulangan Tranversal

Tulangan transversal sepanjang panjang yang didefinisikan, harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut.

- b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari

$$A_g f_c / 20$$

2.5.6. Perencanaan Bored Pile

Daya dukung pondasi *bored pile* mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan kapasitas tahanan ujung (*end bearing capacity*) dan tahanan selimut tiang (*shaft bearing capacity*).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2-48)$$

Daya dukung tiang dinyatakan sebagai berikut ini.

$$Q_p = q_c \times A_{bor} \quad (2-49)$$

Kapasitas selimut tiang dinyatakan sebagai berikut ini.

$$Q_s = 0,8 \cdot f_s \cdot A_{selimut} \quad (2-50)$$

$$A_{selimut} = \pi \cdot D \cdot D_f \quad (2-51)$$

dengan:

- Q_u = Daya dukung ultimit tiang
- Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang
- Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang
- q_c = $3 \cdot N_{spt}$
- A_{bor} = Luas penampang tiang bor
- $A_{selimut}$ = Luas selimut tiang bor
- D = Diameter tiang bor
- D_f = Panjang tiang bor
- f_s = $N_{sptmean}$

Besarnya daya dukung ultimit untuk satu tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (2-52)$$

dengan :

SF = angka aman

Bored pile disatukan dalam kelompok dengan menggunakan *poer* yang dianggap kaku sehingga bila beban yang bekerja pada kelompok tiang menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang, *poer* tetap merupakan bidang datar dan gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.

Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan persamaan seperti yang tercantum di bawah ini.

$$n = \frac{V}{P_{\text{tiang}}} \quad (2-53)$$

dengan :

n = jumlah tiang

V = gaya aksial rencana pondasi

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan rumus dan ketentuan sebagai berikut ini.

$$2,5 D \leq S \leq 3,5 D \quad (2-54)$$

dengan :

S = Jarak antar tiang

D = Diameter tiang

Sedangkan jarak tiang ke tepi poer dibatasi dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$1,25 D \leq S \leq 1,5 D \quad (2-55)$$

dengan :

S = Jarak tiang ke tepi poer

D = Diameter tiang

Kontrol Reaksi MasingMasingTiang

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah sebagai berikut ini.

$$p_{\max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \quad (2-56)$$

dengan :

P_{max} = beban maksimum yang diterima tiang

ΣV = jumlah total beban normal

n = jumlah tiang dalam satu poer

M_x = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer

M_y = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer

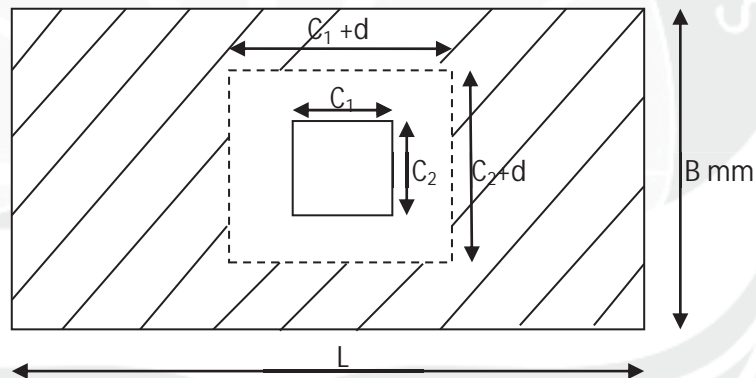
X = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang

y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang

Σx^2 = jumlah kuadrat absis tiang

Σy^2 = jumlah kuadrat ordinat tiang

Kontrol Terhadap Geser Dua Arah Pada Poer



Gambar 2.2 Daerah Kritis Poer Untuk Geser 2 Arah

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-57)$$

$$V_u < \phi V_n \quad (2-58)$$

Nilai-nilai V_c harus diambil yang terkecil dari persamaan-persamaan berikut ini.

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2-59)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_o d \quad (2-60)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{bo} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{12} bo \cdot d \quad (2-61)$$

$$V_u = Q_u \times ((B \times L) - ((C_1 + d)(C_2 + d))) \quad (2-62)$$

dengan :

bo = keliling penampang kritis pada poer

d = Tinggi efektif poer

C_1/C_2 = Ukuran Kolom

β_c = perbandingan sisi panjang kolom dengan sisi pendek kolom

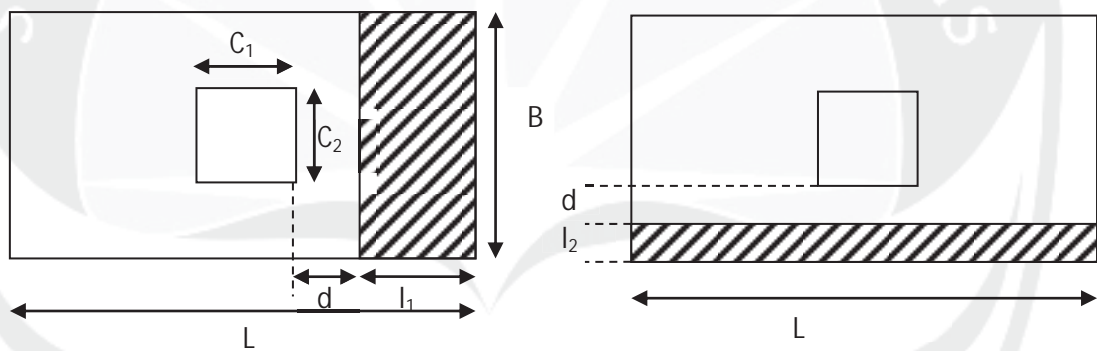
B/L = Ukuran Poer

α_s = 40 untuk kolom interior

= 30 untuk kolom tepi

= 20 untuk kolom sudut

Kontrol Terhadap Geser Satu Arah Pada Poer



Gambar 2.3 Daerah Kritis Poer Untuk Geser 1 Arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-63)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-64)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2-65)$$

$$V_u = Q_u \cdot B \cdot l_1 \quad (2-66)$$

$$V_u = Q_u \cdot L \cdot l_2 \quad (2-67)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2-68)$$

$$l_1 = l_2 = \frac{1}{2} \text{lebar poer} - \frac{1}{2} \text{lebar kolom} - d \quad (2-69)$$

dengan :

V_u = kuat geser total terfaktor

V_n = kuat geser nominal

V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

Q_u = Gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis

P_u = Daya dukung tiang

b = lebar penampang kritis

A = Luas poer

L = Lebar poer

d = Tinggi efektif

Perencanaan Tulangan Bored Pile

Perencanaan tulangan *bored pile* harus memenuhi persamaan :

$$\phi \cdot P_n \geq P_u \quad (2-70)$$

dimana :

untuk penulangan spiral

$$P_n = 0,85\phi \cdot [0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2-71)$$

Untuk penulangan sengkang

$$P_n = 0,8\phi \cdot [0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (2-72)$$

dengan :

A_g = luas penampang *bored pile*

A_{st} = luas tulangan *bored pile*

Φ = faktor reduksi kekuatan

= 0,75 untuk kolom dengan penulangan spiral

= 0.65 kolom dengan penulangan sengkang